



#4

PATENT APPLICATION**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re application of

Juing FANG

Attorney Docket No. Q68098

Appln. No.: 10/043,227

Group Art Unit: Unknown

Confirmation No.: 6193

Examiner: Unknown

Filed: January 14, 2002

For: A METHOD OF TRANSMITTING AND RECEIVING QAM-16 DIGITAL SIGNALS

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

Submitted herewith is a certified copy of the priority document on which a claim to priority was made under 35 U.S.C. § 119. The Examiner is respectfully requested to acknowledge receipt of said priority document.

Respectfully submitted,

David J. Cushing
Registration No. 28,703

SUGHRUE MION, PLLC
2100 Pennsylvania Avenue, N.W.
Washington, D.C. 20037-3213
Telephone: (202) 293-7060
Facsimile: (202) 293-7860

Enclosures: France 0100465

Date: March 1, 2002



THIS PAGE BLANK (USPTO)

Q68098
1301

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 19 IIIII 2001

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04
Télécopie : 01 42 93 59 30
<http://www.inpi.fr>

THIS PAGE BLANK (USPTO)



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

ter dépôt

BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ
Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

verfa
N° 11354°01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DS 543 W / 760897

REMISE DES PIÈCES DATE 15 JAN 2001 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI 0100465 DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI 15 JAN. 2001		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL Département PI Bradford Lee SMITH 30 avenue Kléber 75116 PARIS	
Vos références pour ce dossier (facultatif) 103230/SM/SPD/TPM			
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N° _____ Date ____/____/____	
ou demande de certificat d'utilité initiale		N° _____ Date ____/____/____	
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>		<input type="checkbox"/> N° _____ Date ____/____/____	
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) PROCEDE POUR LA TRANSMISSION ET LA RECEPTION DE SIGNAUX NUMERIQUES MODULES EN PHASE ET EN AMPLITUDE A SEIZE ETATS			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		ALCATEL	
Prénoms			
Forme juridique		Société Anonyme	
N° SIREN		5.4.2.0.1.9.0.9.6	
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	54, rue La Boétie	
	Code postal et ville	75008 PARIS	
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			

REMISE DES PIÈCES DATE 15 JAN 2001 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI 0100465		Réservé à l'INPI	
Vos références pour ce dossier : <i>(facultatif)</i>		103230/SM/SPD/TPM	
6 MANDATAIRE			
Nom		SMITH	
Prénom		Bradford Lee	
Cabinet ou Société		Compagnie Financière Alcatel	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		PG 9222	
Adresse	Rue	30 Avenue Kléber	
	Code postal et ville	75116	PARIS
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>			
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>			
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>			
7 INVENTEUR (S)			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
8 RAPPORT DE RECHERCHE		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt <i>(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence)</i> :	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR XX DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI C. TRAN	

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08


Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° .1./1..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 113 W / 26089

Vos références pour ce dossier (facultatif)		103230/SM/SPD/TPM	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0100065 6	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) PROCÉDE POUR LA TRANSMISSION ET LA RECEPTION DE SIGNAUX NUMERIQUES MODULES EN PHASE ET EN AMPLITUDE A SEIZE ETATS			
LE(S) DEMANDEUR(S) : Société anonyme ALCATEL			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		FANG	
Prénoms		Juing	
Adresse	Rue	157, RUE DE FONTENAY	
	Code postal et ville	94300	VINCENNES, FRANCE
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) XX DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		5 janvier 2001 Bradford Lee SMITH 	

THIS PAGE BLANK (USPTO)

PROCEDE POUR LA TRANSMISSION ET LA RECEPTION DE SIGNAUX NUMERIQUES MODULES EN PHASE ET EN AMPLITUDE A SEIZE ETATS

L'invention concerne un procédé pour transmettre des signaux numériques
5 en modulation de phase à quatre états ainsi qu'une modulation combinée
d'amplitude et de phase à seize états.

Pour transmettre des signaux numériques, on utilise couramment la
modulation de phase à quatre états qui consiste à représenter un couple de chiffres
binaires par la phase d'un signal sinusoïdal par rapport à une référence.

10 Étant donné qu'un nombre à deux chiffres binaires peut prendre quatre
valeurs, les phases peuvent différer de $\pi / 2$ radians. Par exemple, un signal
présentant un déphasage de $\pi / 4$ radians par rapport au signal de référence
correspond au nombre 00. Un signal déphasé de $3\pi / 4$ par rapport à la référence
représente le nombre 01, le signal déphasé de $5\pi / 4$ par rapport à la référence
15 représente le nombre 11 et le signal déphasé de $7\pi / 4$ par rapport à la référence
représente le nombre 10. Une telle correspondance entre le couple de chiffres
binaires et les déphasages, dans laquelle, pour chaque incrément de $\pi / 2$ un seul
chiffre binaire est modifié est appelée correspondance de Gray. D'autres
correspondances sont possibles, par exemple la correspondance naturelle par
20 valeurs croissantes des nombres, la succession des nombres binaires étant alors 00,
01, 10 et 11.

La modulation de phase à quatre états est souvent dénommée QPSK, c'est-
à-dire "Quarter Phase Shift Keying" en langue anglaise.

En réception, il faut connaître la référence de phase, c'est-à-dire savoir
25 distinguer entre les quatre valeurs de phases transmises, par exemple, $\pi/4$, $3\pi/4$,

$5\pi/4$ et $7\pi/4$ ou $0, \pi / 2, \pi$ et $3 \pi / 2$. Le procédé le plus simple pour récupérer la référence, c'est-à-dire lever l'ambiguïté de phase, consiste à émettre périodiquement un symbole connu, c'est-à-dire constitué de bits de valeurs prédéterminées. L'inconvénient de ce procédé est qu'il ne permet pas de corriger les erreurs dues au
5 bruit, inévitable, des transmissions et qui a pour conséquence de produire des sauts de phases entre deux émissions de symboles connus.

Un autre procédé, relativement complexe, consiste à détecter les erreurs de décodage et à commander des rotations de phase par incréments de $+\pi / 4$ afin de déterminer quelle est la phase correcte. Ce procédé nécessite un temps de traitement
10 non négligeable qui n'est pas compatible avec une transmission en temps réel par paquets car le temps de traitement entraîne des pertes d'informations.

Le procédé fournissant les meilleurs résultats consiste à affecter les données transmises d'un code correcteur d'erreurs et à corriger les erreurs non pas simultanément à la transmission, comme dans les procédés connus, mais ultérieurement,
15 après le décodage proprement dit.

Les codes correcteurs d'erreurs les plus efficaces sont les codes produits ou turbocodes. Pour former un code produit, on assemble des chiffres binaires à transmettre selon une matrice à L lignes et C colonnes et les lignes et les colonnes sont codées par bloc, c'est-à-dire qu'à chaque ligne comportant C bits d'information, on
20 ajoute $(K - C)$ bits de correction d'erreurs ou bits de parité et, de même, à chaque colonne comprenant L bits d'information, on ajoute $P - L$ bits de correction. Si une ligne est complètement erronée, les bits de parité de cette ligne ne permettront pas la correction ; par contre, la ligne erronée pourra être corrigée grâce aux bits de parité en colonnes car dans chaque colonne un seul bit est erroné.

25 Toutefois, ces turbocodes ne sont pas utilisables pour la modulation QPSK car les turbocodes connus jusqu'à présent sont tels que les décodages sont affectés par les rotations de phase. Autrement dit, les codes correcteurs d'erreur de type turbocode connus jusqu'à présent ne sont pas transparents aux rotations de phase et ne peuvent donc pas être utilisés pour la transmission QPSK.

30 L'invention fournit des codes correcteurs d'erreur de type turbo ou produits pour des signaux modulés QPSK et qui sont insensibles aux rotations de phases. L'invention fournit donc un turbocode pour la modulation QPSK qui est transparent aux rotations de phases.

Selon un premier mode de réalisation de l'invention, pour le codage, les
35 deux bits, I et Q, d'un symbole QPSK à transmettre sont disposés sur des lignes différentes, mais sur la même colonne, et de façon telle que chaque ligne ne

comporte qu'un seul type de bit, I ou Q, le codage pour la correction d'erreur étant effectué, d'une part, ligne par ligne et, d'autre part, par paire de colonnes adjacentes, les bits I de codage de deux colonnes adjacentes associées étant déduits des bits I de ces deux colonnes et, de même, l'ensemble des bits Q de codage de ces deux colonnes adjacentes associées étant déduit des bits Q de ces colonnes, ces bits de
5 codage étant disposés de la même façon que les bits de départ, c'est-à-dire de manière que chaque ligne ne comporte qu'un seul type de bit, I ou Q, les couples de bits de codage I et Q adjacents sur une même colonne étant transmis également comme des symboles.

10 On constate qu'avec un tel codage si, par exemple, on fait appel à des symboles de type Gray, une rotation de π inverse les bits (un bit 1 devient un bit 0 et un bit 0 devient un bit 1). Ainsi, la matrice reste toujours dans la même famille de lignes et de colonnes, ce qui permet, de façon en soi connue, de corriger les erreurs.

Lorsqu'il se produit une rotation de $\pi / 2$, les lignes I deviennent des lignes
15 Q et les lignes Q deviennent des lignes I inversées. Les mots de lignes et de colonnes ainsi obtenus avec une rotation de $\pi / 2$ restent respectivement dans les codes de lignes et de colonnes, ce qui permet de les décoder correctement. On montre, de même, qu'une rotation de $3 \pi / 2$ entraîne que les lignes I deviennent des lignes Q inversées et que les lignes Q deviennent des lignes I. Dans ces conditions, les mots de
20 lignes et de colonnes peuvent être décodés correctement.

Ainsi, dans le cas de symboles QPSK de type Gray, le premier mode de réalisation de codage est transparent aux rotations de π , $\pi / 2$ et $3 \pi / 2$, c'est-à-dire pour toutes les rotations. On montre aussi que ce codage présente les mêmes propriétés pour une succession naturelle des symboles QPSK. Ce codage est donc
25 totalement trans-parent aux rotations, ce qui permet ainsi un décodage correct.

Dans un second mode de réalisation de l'invention, pour le codage des symboles à transmettre, on dispose les deux bits I et Q d'un symbole QPSK sur une même ligne, chacune de ces lignes étant ainsi formée de couples de bits I et Q, les lignes et les colonnes étant disposées de façon telle que dans chaque colonne, les
30 bits I et Q soient alternés, les lignes et les colonnes étant codées par paires adjacentes de façon telle que les bits de codage I soient dérivés des bits de codage I de deux lignes (colonnes) adjacentes associées et que, de même, les bits de codage Q de ces deux lignes (colonnes) adjacentes soient dérivés seulement des bits Q de ces deux lignes (colonnes), les bits de codage étant disposés comme les bits d'origine,
35 les couples de bits I et Q de codage sur chaque ligne étant transmis comme les autres symboles QPSK.

Avec ce second mode de réalisation, une rotation de π radians avec des symboles en succession naturelle ou de type Gray, se traduit par le fait que les bits I et les bits Q sont simplement inversés et, ainsi, les lignes et les colonnes restent toujours dans les mêmes codes, ce qui permet le décodage.

- 5 Une rotation de $\pi / 2$ se traduit par le fait que des lignes I deviennent des lignes Q et les lignes Q deviennent des lignes I inversées. De façon générale, on montre que ce second mode de réalisation fournit un codage turbo transparent aux rotations de phase pour des symboles QPSK.

- 10 Les codages correcteurs d'erreurs selon l'invention sont utilisés pour la transmission de signaux. L'invention concerne aussi un procédé de réception de signaux affectés de codes correcteurs d'erreurs décrits ci-dessus et dans lequel on effectue le décodage afin de récupérer les symboles d'origines.

- 15 Les codages des symboles QPSK transparents aux rotations de phase sont utilisables, selon un autre aspect de l'invention (qui peut être utilisé indépendamment des autres aspects de l'invention), pour effectuer un codage turbo d'une modulation de phase et d'amplitude à seize états, dite QAM-16.

- 20 On sait qu'une telle modulation consiste à transmettre chacun des seize nombres à quatre bits par une phase et une amplitude déterminées d'une porteuse de fréquence donnée. Ainsi, avec la représentation classique dans le plan complexe, dans chaque quadrant on prévoit quatre points qui se distinguent par leurs positions, c'est-à-dire par leurs phases et/ou leurs amplitudes, chacun de ces quatre points représentant un nombre binaire à quatre bits.

- 25 Selon l'invention, dans chaque quadrant du plan complexe, on prévoit une répartition des quatre symboles QAM-16 telle que ces nombres binaires ont les mêmes deux derniers chiffres et les deux premiers chiffres forment des nombres différents : 00, 01, 11 et 10, et on répartit dans l'ensemble du plan complexe ces nombres en quatre sous-ensembles, chaque sous-ensemble étant formé par l'ensemble des nombres ayant les mêmes deux premiers chiffres binaires et, se trouvant donc dans les quatre quadrants différents, les coordonnées des symboles dans le plan complexe étant choisies de façon telle qu'après une rotation de $\pi / 2$, chaque sous-ensemble prend la place d'un autre sous-ensemble.

- 30 Pour effectuer le codage de type produit d'un tel ensemble de symboles QAM-16, on effectue le codage par couple de bits, formant un symbole QPSK, de chaque symbole QAM-16, ce codage de symboles QPSK étant du type transparent aux rotations de phases et on transmet les données ainsi codées selon la répartition dans le plan complexe du type défini ci-dessus.

En variante, le codage d'un tel ensemble de symboles QAM-16 s'effectue bit par bit, à l'aide d'un code BPSK classique et transparent aux rotations de phase.

La modulation de phase et d'amplitude à seize états est utilisable pour la transmission d'informations. L'invention concerne aussi la réception d'informations
5 modulées comme défini ci-dessus, la démodulation consistant à récupérer les symboles d'origines à partir des phases et des amplitudes des signaux reçus.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront avec la description de certains de ses modes de réalisation, celle-ci étant effectuée en se référant aux dessins ci-annexés sur lesquels :

- 10 la figure 1 est un schéma d'un procédé de modulation et de démodulation utilisant un procédé de codage conforme à l'invention,
- la figure 2 est un diagramme montrant une modulation QPSK,
- la figure 3 est un schéma expliquant un premier procédé de codage conforme à l'invention,
- 15 la figure 4 est un schéma analogue à celui de la figure 3 pour une variante,
- la figure 5 est un schéma montrant une modulation QAM-16 selon l'invention, et

la figure 6 est un schéma de modulateur QAM-16 conforme à l'invention.

- Pour transmettre des données binaires, la modulation de phase à deux états,
20 ou modulation QPSK, consiste à transmettre une porteuse de fréquence déterminée et d'amplitude déterminée et à conférer quatre valeurs possibles à la phase de cette porteuse par rapport à une référence. Deux phases successives sont, dans le plan complexe représenté sur la figure 2, séparées par un écart angulaire de $\pi / 2$ radians. La première phase se trouve dans le premier quadrant, la seconde phase
25 dans le second quadrant, la troisième phase dans le troisième quadrant et la quatrième dans le quatrième quadrant. Par exemple, la première phase est décalée de $\pi / 4$ radians par rapport à la référence, la seconde phase de $3 \pi / 4$, la troisième phase de $5 \pi / 4$ et la quatrième phase de $7 \pi / 4$. A chacune de ces phases, on associe deux chiffres binaires. Dans une correspondance, ou succession, de type gray
30 entre les phases et les chiffres binaires, ces derniers sont 00, 01, 11 et 10 quand on tourne dans le sens positif en partant du premier quadrant. On voit que, dans ce cas, un seul chiffre binaire est modifié à chaque fois qu'on progresse d'un pas. Dans une représentation de type dit naturel, représentée entre parenthèses sur la figure 2, les chiffres binaires progressent de la façon suivante : 00, 01, 10 et 11. Autrement dit,
35 on fait progresser de façon naturelle, par ordre croissant, les nombres binaires correspondant aux couples de chiffres binaires.

Un couple (ou de façon plus générale un ensemble) de chiffres binaires est, habituellement, appelé un symbole.

Pour la démodulation, il faut déterminer la phase des signaux transmis par rapport à la porteuse de référence. Cette détermination n'est pas aisée en raison des
5 bruits qui provoquent notamment des rotations.

La modulation et la démodulation est plus efficace si on transmet non pas des phases mais des différences de phases entre deux symboles consécutifs. Ainsi, en cas de rotation, la différence de phase entre deux symboles consécutifs ne sera pas changée. En outre, pour une transmission en temps réel, on prévoit que les données
10 soient transmises avec un code correcteur d'erreur de façon que les erreurs soient corrigées uniquement à la réception. Le code correcteur d'erreur le plus efficace est le code produit ou turbocode. Mais, on a constaté qu'un tel code produit est affecté par les rotations de phase. Ainsi, l'invention fournit un code produit qui est insensible aux rotations de phase.

15 Avant de décrire en détail les codes produits conformes à l'invention, on décrit un modulateur et un démodulateur QPSK utilisés dans le cadre de l'invention.

Le modulateur 10 (figure 1) comprend un codeur différentiel 12 à deux dimen-sions destiné à fournir des symboles QPSK consécutifs. Ainsi, sur la première sortie 121 du codeur 12, on obtient un premier bit I et sur la seconde sortie 122, on
20 obtient un deuxième bit Q de la différence entre deux symboles consécutifs.

Les symboles fournis par le codeur 12 sont appliqués sur les entrées d'un codeur 14 de type produit conforme à l'invention et dont la fonction sera décrite plus loin notamment en relation avec les figures 3 et 4. Ce codeur 14 fournit un ensemble de symboles qui comprend, d'une part, les symboles appliqués sur son entrée et,
25 d'autre part, des symboles supplémentaires qui sont utilisés pour la correction d'erreurs après transmission. Les symboles en sortie du codeur 14 sont transformés par un bloc 16 de modulation QPSK en des phases d'une porteuse et ces signaux modulés sont transmis par un canal, par exemple un canal hertzien 18.

A la réception, on prévoit un démodulateur 20 qui comprend un bloc 22 de
30 démodulation QPSK qui reçoit les signaux du canal et qui délivre sur ses sorties 221 et 222 des symboles binaires qui sont appliqués aux deux entrées d'un décodeur 24 de codes produits afin de déterminer les symboles d'origine correspondant à la sortie du codeur 12. Les symboles de sortie du décodeur 24 sont appliqués à l'entrée d'un déco-deur différentiel 26 à deux dimensions qui effectue l'opération inverse de celle
35 effectuée par le codeur 12 et qui fournit donc sur sa sortie les symboles d'origine.

Pour que le bloc 22 de démodulation et le décodeur 24 ne soient pas affectés par les rotations de phase, il est nécessaire que le code produit utilisé soit transparent aux rotations de $\pi / 2$, π et $3 \pi / 2$, c'est-à-dire qu'une telle rotation doit transformer chaque mot-code en un mot-code valable, c'est-à-dire faisant partie de la même famille.

On va maintenant décrire en relation avec le tableau I ci-dessous et avec la figure 3 un premier mode de réalisation d'un code produit pour des symboles QPSK et qui est transparent aux rotations de phases.

Tableau I

I11	I12	I13	I14
Q21	Q22	Q23	Q24
I31	I32	I33	I34
Q41	Q42	Q43	Q44

On rappelle tout d'abord que lorsqu'on dispose d'un ensemble de valeurs ou chiffres binaires, un code produit classique consiste à disposer les chiffres binaires selon des lignes et selon des colonnes et à ajouter à chaque ligne et à chaque colonne des bits supplémentaires qui seront utilisés pour la correction d'erreurs. Les codes par ligne ou par colonne sont appelés des codes-blocs. De tels codes étant bien connus, il n'est pas nécessaire de les décrire en détail.

L'avantage d'un code produit est de permettre la correction d'une ligne fortement altérée. En effet, une ligne comportant plus de deux bits erronés n'est pas forcément corrigable. Par contre, si les colonnes ne sont pas altérées, chaque bit de la ligne peut ainsi être corrigé grâce aux codes correcteurs d'erreurs des colonnes. De même, si une colonne est altérée alors que les lignes ne le sont pas, cette colonne pourra être corrigée grâce aux codes des lignes.

Dans l'exemple représenté sur le tableau I, I représente un premier bit (par exemple le plus significatif) d'un symbole QPSK et Q le second bit d'un tel symbole. Dans cet exemple simplifié, on présente, à l'entrée du codeur 14, deux symboles (I11, Q21) et (I12, Q22). A la sortie du codeur 14, on obtient le tableau I. A cet effet, les lignes sont codées de façon classique par un code bloc alors que les colonnes sont codées par paires.

Ainsi, après avoir effectué le codage par ligne, on obtient les deux premières lignes du tableau I. Ensuite, on effectue le codage de façon telle que l'ensemble des

deux bits I11 et I12 fournisse l'ensemble des deux bits I31 et I32 et que les bits Q21 et Q22 fournissent les bits Q41 et Q42. De même, les bits I33 et I34 résultent du codage des bits I13 et I14 et on code les bits Q23 et Q24 de façon à obtenir les bits Q43 et Q44.

- 5 De cette manière, on obtient, en plus des symboles de départ : (I11, Q21) et (I12, Q22), six autres symboles, à savoir les symboles (I13, Q23), (I14, Q24), (I31, Q41), (I32, Q42), (I33, Q43) et (I34, Q44). L'ensemble de ces symboles est ainsi transmis par le canal 18.

- De façon plus générale, comme représenté sur la figure 3, si au départ on
10 prévoit KL Lignes et KC Colonnes, on ajoute NL – KL lignes et NC – KC colonnes. Le codage est effectué tout d'abord de façon classique par ligne, c'est-à-dire qu'à chaque ligne on ajoute des bits supplémentaires.

- Le codage par colonne s'effectue de la façon suivante : on considère tout
d'abord les deux premières colonnes, et dans ces colonnes les bits I : I11, I12; I31,
15 I32, etc. se trouvant sur les lignes de rang impair. A partir de ces bits I, on détermine dans les NL - KL lignes supplémentaires, des valeurs I qu'on dispose aussi dans les lignes de rang impair.

- De même, à partir des valeurs Q : Q21, Q22, Q41, Q42, etc. se trouvant
dans les lignes de rang pair, on détermine des couples de bits Q supplémentaires
20 qu'on dispose dans les lignes de rang pair des NL - KL lignes supplémentaires.

- On procède ensuite de la même manière avec la troisième et la quatrième
colonnes, la cinquième et la sixième colonnes, etc... et, dans chaque couple de
colonnes, on considère l'ensemble des I, c'est-à-dire l'ensemble des symboles des
lignes de rang impair, comme s'il constituait une seule colonne et on en déduit les
25 bits de correction d'erreurs à ajouter, ces bits étant disposés dans les lignes de rang
impair de l'ensemble des lignes supplémentaires NL - KL de chaque double colonne.

- De la même manière, l'ensemble des bits Q des lignes de rang pair de
chaque paire de colonnes est considéré comme une seule colonne à laquelle on
ajoute des bits de corrections d'erreurs qui sont disposées par paires dans les lignes
30 de rang pair de l'ensemble NL - KL.

Bien entendu, les bits I fournissent des bits I et les bits Q fournissent des bits Q. Un couple formé par un bit I et par le bit Q suivant dans la même colonne est un symbole transmis par le canal.

- Le calcul montre qu'un tel type de code produit est transparent aux rotations
35 de π , $\pi / 2$, $3\pi / 2$ et $-\pi / 2$. On considérera à cet effet tout d'abord la succession de Gray 00, 01, 11, 10.

La considération de la figure 2 montre qu'une rotation de π donne lieu aux transformations suivantes des symboles I et Q :

$$\begin{aligned} I' &= I \oplus 1 = \bar{I} \\ Q' &= Q \oplus 1 = \bar{Q} \end{aligned} \quad (1)$$

Dans ces conditions, les valeurs restent toujours dans les mêmes codes de lignes et de colonnes et le codage reste donc transparent à une rotation de π .

Une rotation de $\pi / 2$ aboutit aux relations :

$$\begin{aligned} I' &= Q \\ Q' &= I \oplus 1 = \bar{I} \end{aligned} \quad (2)$$

On voit qu'ainsi, avec une rotation de $\pi/2$, les lignes I sont remplacées par des lignes Q et les lignes Q sont remplacées par des lignes I inversées. Les lignes sont décodées correctement. De même, en colonnes, le fait qu'une ligne I devienne une ligne Q et réciproquement entraîne que la rotation de $\pi/2$ reste dans le code de colonnes. Ainsi, le codage produit décrit ci-dessus est transparent aux rotations de $\pi/2$.

Une rotation de $3 \pi / 2$ correspond aux transformations suivantes :

$$\begin{aligned} I' &= Q \oplus 1 = \bar{Q} \\ Q' &= I \end{aligned} \quad (3)$$

Ainsi, les lignes I sont remplacées par des lignes Q inversées (\bar{Q}) et les lignes Q sont remplacées par des lignes I. Les lignes sont décodées correctement et, comme dans le cas d'une rotation $\pi/2$, on voit qu'une rotation de $3\pi/2$ entraîne qu'une colonne reste dans le même code. Le codage produit décrit ci-dessus est donc également transparent aux rotations de phase de $3\pi/2$.

Le codage produit représenté sur la figure 3 est donc transparent aux rotations de phase.

Dans le cas d'une succession naturelle des symboles QPSK, une rotation de π radians donne lieu aux équations suivantes :

$$\begin{aligned} I' &= I \oplus 1 = \bar{I} \\ Q' &= Q \end{aligned} \quad (4)$$

Une rotation de $\pi/2$ radians aboutit aux relations :

$$I' = I \oplus Q$$

$$Q' = Q \oplus 1 = \bar{Q} \quad (5)$$

5 Une rotation de $3\pi/2$ radians se traduit par :

$$I' = I \oplus Q \oplus 1$$

$$Q' = Q \oplus 1 = \bar{Q} \quad (6)$$

Les bits Q étant codés par le même code de lignes ou de colonnes et le
10 code étant linéaire, il est transparent aux rotations π , $\pi/2$ et $3\pi/2$.

On va maintenant décrire en relation avec la figure 4 un second type de codage produit pour des symboles QPSK qui est également transparent aux rotations de phase.

Comme pour le premier mode de réalisation, on expliquera tout d'abord un
15 exemple simple représenté sur le tableau II ci-dessous.

Tableau II

I11	Q12	I13	Q14
Q21	I22	Q23	I24
I31	Q32	I33	Q34
Q41	I42	Q43	I44

20 Dans cet exemple, on part de deux symboles QPSK (I11, Q12) et (Q21, I22) qu'on dispose sur deux lignes distinctes, l'un dans l'ordre naturel et l'autre dans l'ordre inverse, comme représenté, c'est-à-dire que Q21 se trouve dans la même colonne que I11, et I22 se trouve dans la même colonne que Q12.

ensuite, on code les bits I des lignes de rangs 1 et 2 comme s'ils étaient sur
25 la même ligne. Ils fournissent ainsi les bits I13 et I24 qu'on dispose sur les lignes de rangs 1 et 2, au rang 3 (c'est-à-dire dans la colonne de rang 3) sur la ligne 1 (bit I13) et au rang 4 (colonne de rang 4) sur la ligne 2 (bit I24).

de même, on code les bits Q12 et Q21 comme s'ils se trouvaient sur la même ligne et ils fournissent les bits Q14 et Q23 qu'on dispose aussi sur les lignes 1
30 et 2, aux rangs, respectivement, 4 (pour Q14) et 3 (Q23).

Ainsi, comme on peut le voir, les bits I13 et Q14 se trouvent sur la ligne numéro 1 avec la même succession IQ que les bits I11 et Q12 et, de même, les bits

Q23 et I24 se trouvent sur la ligne numéro 2 avec la même succession QI que les bits Q21 et I22.

Le codage de colonnes s'effectue de la même manière, c'est-à-dire qu'on considère les bits I11 et I22 faisant partie des première et seconde colonnes qu'on code ensemble. Ils fournissent les bits I31 et I42 disposés, respectivement, dans la première et la seconde colonnes. De façon analogue, les bits Q12 et Q21 des seconde et première colonnes fournissent les bits Q32 et Q41 disposés, respectivement, dans la seconde et la première colonnes.

Enfin, les bits I33 et I44 résultent du codage en colonnes des bits I13 et I24 et, de même, les bits Q34 et Q43 résultent du codage en colonnes des bits Q14 et Q23.

Dans une variante, les bits I31 et I42 des troisième et quatrième lignes fournissent les bits de codage I33 et I44 disposés, respectivement, sur la troisième et la quatrième lignes et les bits Q32 de la troisième ligne et Q41 de la quatrième ligne fournissent les bits de codage Q34 et Q43 disposés, respectivement, sur la troisième et la quatrième lignes.

De façon plus générale, comme montré sur la figure 4, on part d'une matrice de symboles QPSK à KL lignes et KC colonnes. Sur les lignes de rangs impairs 1, 3, 5, etc., on dispose une suite de symboles IQ et sur les lignes 2, 4, 6, etc. de rangs pairs, on dispose une suite de symboles IQ disposés de façon inversée, c'est-à-dire que le pre-mier bit devient le second et réciproquement. Ainsi, on dispose sur chaque ligne de rang pair une succession de QI.

A cette matrice à KL lignes et KC colonnes, on ajoute NL - KL lignes de bits de codage et NC - KC colonnes de codage de façon à former une matrice à NL lignes et NC colonnes.

Les bits de codage qu'on trouve dans les lignes et colonnes supplémentaires sont calculés de la même manière que décrit en relation avec le tableau II, c'est-à-dire qu'on considère tout d'abord les lignes 1 et 2 et dans ces lignes 1 et 2, on considère l'ensemble des bits I auxquels on affecte NC - KC bits I de codage qu'on dispose de la même manière que dans la matrice d'origine, c'est-à-dire qu'au rang KC + 1 on dispose le premier bit sur la première ligne, au rang KC + 2 on dispose le second bit I sur la seconde ligne, etc. On procède de même pour le bit Q, c'est-à-dire qu'aux bits Q des lignes 1 et 2, on affecte NC - KC bits Q de codage, le premier étant disposé sur la seconde ligne, le second sur la première ligne, le troisième sur la seconde ligne, etc.

Les lignes 3 et 4, les lignes 5 et 6, etc. sont traitées de la même manière.

ensuite, à partir de la matrice à KL lignes et NC colonnes ainsi obtenue, on forme la matrice à NL lignes et NC colonnes en codant de façon analogue les colonnes deux par deux, c'est-à-dire qu'on code ensemble les colonnes 1 et 2, on code ensemble les colonnes 3 et 4, etc. De façon plus précise, dans chaque couple
5 de colonnes, on considère ensemble les bits I auxquels on affecte $NL - KL$ bits de codage qui sont disposés comme les bits I dans les mêmes rangs de colonnes. Ainsi, dans le cas des colonnes 1 et 2, le premier bit I de codage est disposé dans la première colonne au rang $KL + 1$, le second bit de codage est disposé dans la seconde colonne au rang $KL + 2$, le troisième bit I de codage est disposé dans la
10 première colonne au rang $KL + 3$, etc. De façon analogue, dans les deux premières colonnes, on considère les bits Q à partir desquels on forme $NL - KL$ bits Q de codage et ces $NL - KL$ bits Q de codage sont disposés dans les première et seconde colonnes de la même manière que les bits Q de départ, c'est-à-dire que le premier bit Q de codage est disposé dans la seconde colonne au rang $KL + 1$, le second bit
15 Q de codage est disposé dans la première colonne au rang $KL + 2$, le troisième bit Q de codage est disposé dans la seconde colonne au rang $KL + 3$, etc.

Comme dans le mode de réalisation de codage produit (turbocode) décrit en relation avec la figure 3, le codage produit du type de celui représenté sur la figure 4 est transparent aux rotations de π , $\pi/2$, et $3\pi/2$ radians. Cette
20 transparence se déduit des formules (1), (2), (3), (4), (5) et (6) ci-dessus.

On va maintenant décrire en relation avec les figures 5 et 6 un codage produit pour une modulation QAM-16 qui est également transparent aux rotations de phase.

La modulation QAM-16 consiste à représenter les seize nombres binaires à
25 quatre chiffres par une modulation d'amplitude et de phase d'une porteuse.

La constellation des seize nombres binaires est représentée, comme montré sur la figure 5, dans le plan complexe par seize points. Chaque point a une abscisse de $\pm 0,5$ ou $\pm 1,5$ et une ordonnée de $\pm 0,5$ ou $\pm 1,5$. Ainsi, chaque quadrant du plan complexe comporte quatre points. L'invention consiste à choisir les valeurs
30 attribuées à chaque point dans le plan complexe de façon telle que les seize points soient répartis en quatre sous-ensembles de quatre points chacun, chaque sous-ensemble comportant un point dans chaque quadrant. En outre, ces sous-ensembles sont tels qu'une rotation de $\pi/2$ radians autour de l'origine amène un sous-ensemble à prendre la place d'un autre sous-ensemble.

35 Ainsi : un premier sous-ensemble, dont les points sont affectés d'un triangle sur la figure 5, est formé par les points de coordonnées $(+ 1,5 ; + 1,5)$; $(- 0,5 ;$

+ 1,5) ; (- 0,5 ; - 0,5) et (+ 1,5 ; - 0,5). Un second sous-ensemble, dont les points sont marqués par un carré sur la figure 5, est formé par les points de coordonnées (+ 0,5 ; + 1,5) ; (- 1,5 ; + 1,5) ; (- 1,5 ; - 0,5) et (+ 0,5 ; - 0,5). Le troisième sous-ensemble, dont les points sont marqués par un cercle, comprend les points de coordonnées (+ 0,5 ; + 0,5) ; (- 1,5 ; + 0,5) ; (- 1,5 ; - 1,5) et (+ 0,5 ; - 1,5). Enfin, le quatrième sous-ensemble, dont les points sont marqués par une étoile sur la figure 5, comprend les points de coordonnées : (+1,5 ; +0,5) ; (- 0,5 ; + 0,5) ; (- 0,5 ; - 1,5) et (+ 1,5 ; - 1,5).

Ainsi, les quatre points de chaque sous-ensemble forment un carré et une rotation de $\pi/2$ radians a pour conséquence que le premier sous-ensemble prend la position du second sous-ensemble, le second sous-ensemble prend la position du troisième sous-ensemble, le troisième sous-ensemble prend la position du quatrième sous-ensemble et le quatrième sous-ensemble prend la position du premier sous-ensemble.

En outre, on choisit les nombres dans chaque sous-ensemble de façon telle que les deux premiers bits (les bits les plus significatifs) soient les mêmes et que les deux derniers bits (les moins significatifs) forment des nombres différents, par exemple selon une succession de Gray.

Ainsi, le premier sous-ensemble (dont les points sont marqués par un triangle) a les mêmes deux premiers chiffres 00 et la succession des deux derniers chiffres, en partant du premier quadrant, et dans le sens positif, est : 00, 01, 11, 10. Pour le second sous-ensemble dont les points sont marqués par un rectangle, les deux premiers chiffres sont 01, pour le troisième sous-ensemble, dont les points sont marqués par un cercle, les deux premiers chiffres sont 11 et pour le quatrième sous-ensemble, dont les points sont marqués par une étoile, les deux premiers chiffres sont 10.

on remarque aussi que, dans chaque quadrant, les deux derniers chiffres sont les mêmes. Ainsi, le premier quadrant comporte des symboles appartenant aux premier, second, troisième et quatrième sous-ensembles dont les deux derniers chiffres sont 00. Dans le second quadrant les deux derniers chiffres sont 01, dans le troisième quadrant, les deux derniers chiffres sont 11, et dans le quatrième quadrant les deux derniers chiffres sont 10.

Cette répartition en quatre sous-ensembles tels qu'une rotation de $\pm K\pi/2$ radians (K étant un entier) a pour conséquence qu'un sous-ensemble occupe l'emplacement d'un autre sous-ensemble, a pour résultat que si les mots à transmettre sont affectés d'un code correcteur d'erreurs du type transparent aux

rotations de phase, tels que les codes produits décrits ci-dessus pour la modulation QPSK, les données modulées en QAM-16 seront également transparentes aux rotations de phase.

5 Ainsi, si on sépare chaque nombre binaire à quatre chiffres en deux nombres binaires à deux chiffres et si on affecte à chacun de ces nombres binaires à deux chiffres un turbocode transparent aux rotations de phase, comme si chacun de ces deux nombres devait être transmis en modulation QPSK, on obtiendra le résultat souhaité, c'est-à-dire un turbo code transparent aux rotations de phase.

10 En variante, on fait appel à un turbocode classique du type BPSK transparent aux rotations de phase, c'est-à-dire qu'on effectue le codage correcteur d'erreurs individuellement pour chaque bit.

Ainsi, avec la combinaison d'un code correcteur d'erreurs attribué à chaque bit ou à chaque couple de bits qui est du type transparent aux rotations de phase et la répartition des nombres à quatre chiffres binaires dans le plan complexe comme
15 décrit ci-dessus, pour la transmission en modulation de phase et d'amplitude QAM-16 on obtient une transmission transparente aux rotations de phase, notamment avec un code correcteur d'erreurs de type turbo.

La figure 6 représente des moyens de transmission conformes à l'invention.

Ces moyens de transmission comprennent deux codeurs différentiels à deux
20 dimensions, respectivement 50 et 52. Chacun de ces codeurs différentiels est du même type que le codeur 12 représenté sur la figure 1. sur les deux entrées 501 et 502 du codeur 50, on applique les deux premiers bits de chaque nombre binaire à quatre chiffres et sur les deux entrées 521, 522 du codeur différentiel 52, on applique les deux derniers bits du même nombre à quatre chiffres. Chaque codeur
25 différentiel effectue la différence entre deux nombres à deux chiffres successifs

Les deux chiffres binaires délivrés par chacun des codeurs différentiels 50, 52 sont soumis à un codage turbo transparent aux rotations de phase grâce à des codeurs, respectivement 54 et 56. les codages effectués par ces codeurs 54 et 56 sont soit du type BPSK, c'est-à-dire que le codage s'effectue individuellement sur
30 chaque bit, soit du type QPSK comme décrit en relation avec la figure 3 ou la figure 4, les deux bits étant donc considérés collectivement.

Ensuite, les deux bits de sortie de chacun des codeurs 54 et 56 sont appliqués sur des entrées, respectivement, 581, 582 et 583, 584 d'un modulateur 58 de phase et d'amplitude du type QAM-16 qui répartit les nombres binaires à quatre
35 chiffres ainsi appliqués sur ces entrées dans le plan complexe comme représenté sur la figure 5.

Les signaux modulés fournis par le modulateur 58 sont transmis par un canal 60 et sont reçus par un démodulateur 62 effectuant l'opération inverse de celle réalisée par le modulateur 58, c'est-à-dire déterminant les symboles (nombres binaires à quatre chiffres) à partir des phases et des amplitudes des signaux reçus.

- 5 Dans cet exemple, le démodulateur 62 comporte deux sorties 621, 622 qui délivrent des signaux numériques, d'une part, à un premier décodeur turbo 64 et, d'autre part, à un second décodeur turbo 66 par l'intermédiaire d'un élément de retard 68. Les signaux de sortie du premier décodeur 64 sont transmis à un premier décodeur différentiel 70 à deux dimensions par l'intermédiaire d'un second élément de retard
- 10 72, et le second décodeur 66 transmet directement, dans l'exemple, ses signaux de sorties à un second décodeur différentiel 74 à deux dimensions.

Les éléments de retard 68 et 72 ainsi qu'une connexion 76 entre les deux décodeurs 64 et 66 permettent de synchroniser les signaux de sortie des décodeurs différentiels 70 et 74.

- 15 Il est à noter que la répartition, représentée sur la figure 5, des nombres binaires à quatre chiffres en modulation QAM-16 dans le plan complexe permet, de façon générale, une transparence aux rotations de phase de $\pm K \pi/2$ (K entier) à condition que les codes correcteurs d'erreurs ajoutés soient également transparents aux rotations de phase. Ces codes correcteurs d'erreur peuvent être soit du type bloc,
- 20 c'est-à-dire ligne par ligne, soit du type turbo ou produit.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de transmission de signaux numériques à modulation de phase et d'amplitude à seize états, chaque état représentant un nombre, ou symbole, à quatre chiffres binaires, et étant représenté dans le plan complexe par un point de coordonnées déterminées,
5 caractérisé en ce que, dans le plan complexe, on prévoit, dans chaque quadrant, quatre points représentant quatre nombres à quatre chiffres binaires chacun dont les deux derniers chiffres sont les mêmes et dont les deux premiers chiffres représentent des nombres tous différents,
10 et en ce qu'on répartit, dans l'ensemble du plan complexe, ces nombres en quatre sous-ensembles (\square , Δ , O , $*$) chaque sous-ensemble étant formé par l'ensemble des nombres ayant les mêmes deux premiers chiffres binaires, et se trouvant donc dans les quatre quadrants différents,
15 les coordonnées des symboles dans le plan complexe étant choisies de façon telle qu'après une rotation de $\pm K\pi/2$ (K étant un nombre entier), chaque sous-ensemble prend la place d'un autre sous-ensemble.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la succession, d'un quadrant à un autre, des deux derniers chiffres binaires est de type Gray.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que, dans chaque quadrant, la succession des deux premiers chiffres binaires de chaque symbole est de type Gray
20
4. Procédé selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que, préalablement à la modulation, on soumet les nombres à quatre chiffres binaires à transmettre à un codage de correction d'erreurs de façon à ajouter aux symboles transmis des symboles supplémentaires permettant, à la réception, de
25 corriger des erreurs de transmission, ce codage étant transparent aux rotations de phase.
5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le codage de correction d'erreurs est de type produit, les bits étant considérés individuellement avec un code correcteur d'erreurs transparent aux rotations de phase.
30
6. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que pour le codage de correction d'erreurs, on code ensemble les deux premiers chiffres et ensemble les deux derniers chiffres de chaque symbole.
7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le codage de
35 correction d'erreurs est de type produit et en ce que, pour le codage des deux premiers ou des deux derniers bits I et Q, on dispose ces deux bits sur des

lignes différentes mais sur la même colonne, et de façon telle que chaque ligne ne comporte qu'un seul type de bits, I ou Q, le codage pour la correction d'erreurs étant effectué :

ligne par ligne, et

5 par paire de colonnes adjacentes, les bits I de codage de deux colonnes adjacentes associées étant déduits des bits I de ces deux colonnes et, de même, les bits Q de codage de ces deux colonnes adjacentes associées étant déduits des bits Q de ces colonnes, ces bits de codage étant disposés de la même façon que les bits de départ, c'est-à-dire de manière que chaque ligne
10 ne comporte qu'un seul type de bits, I ou Q,

les couples de bits de codage I et Q adjacents sur une même colonne étant transmis comme des symboles.

8. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le codage de correction d'erreurs étant de type produit, pour le codage des deux premiers
15 ou des deux derniers bits de chaque nombre à quatre chiffres, on dispose les deux bits I et Q sur une même ligne, chacune des lignes étant ainsi formée de couples de bits I et Q, les lignes et les colonnes étant disposées de façon telle que dans chaque colonne, les bits I et Q soient alternés, les lignes et les colonnes étant codées par paires adjacentes de façon telle que les bits
20 de codage I soient dérivés des bits I de deux lignes (colonnes) adjacentes associées et que, de même, les bits de codage Q de ces deux lignes (colonnes) adjacentes soient dérivées seulement des bits Q de ces deux lignes (colonnes), les bits de codage étant disposés comme les bits d'origine,

25 et en ce que les couples de bits I et Q de codage sur chaque ligne sont transmis comme des autres symboles.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, caractérisé en ce que, préalablement au codage de correction d'erreurs, on effectue deux codages différentiels à deux dimensions.

30 10. Procédé de réception de signaux numériques à modulation de phases et d'amplitudes à seize états transmis selon le procédé défini par l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel on affecte à chaque signal reçu selon sa phase et son amplitude un symbole à quatre chiffres binaires.

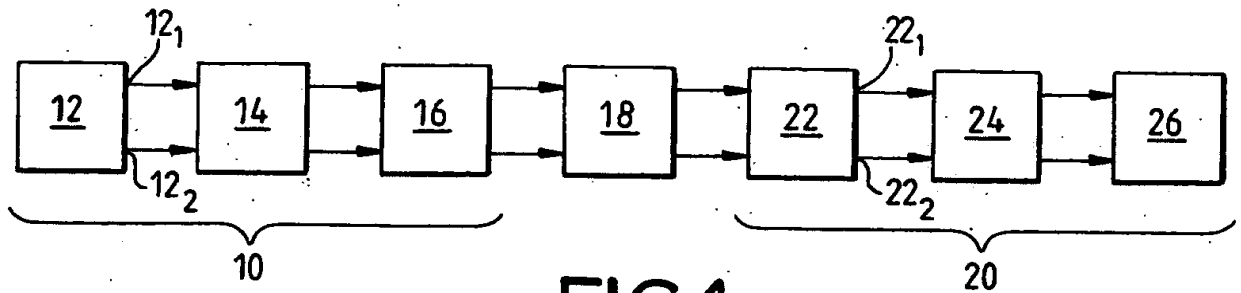


FIG. 1

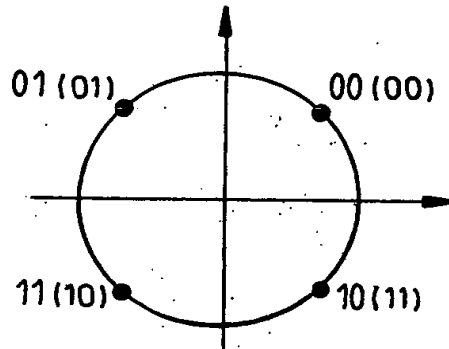


FIG. 2

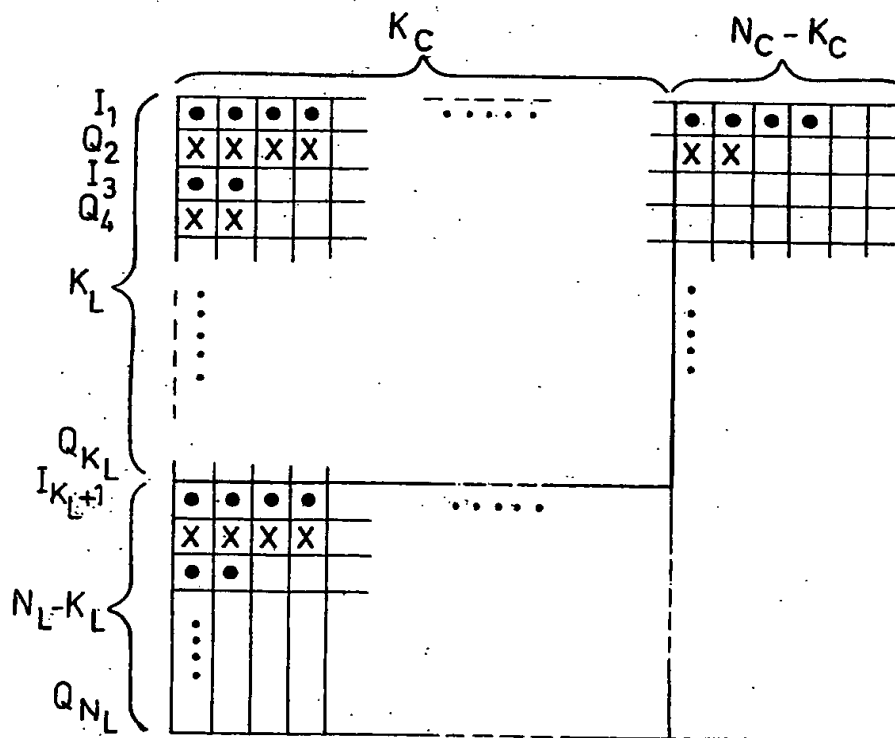


FIG. 3

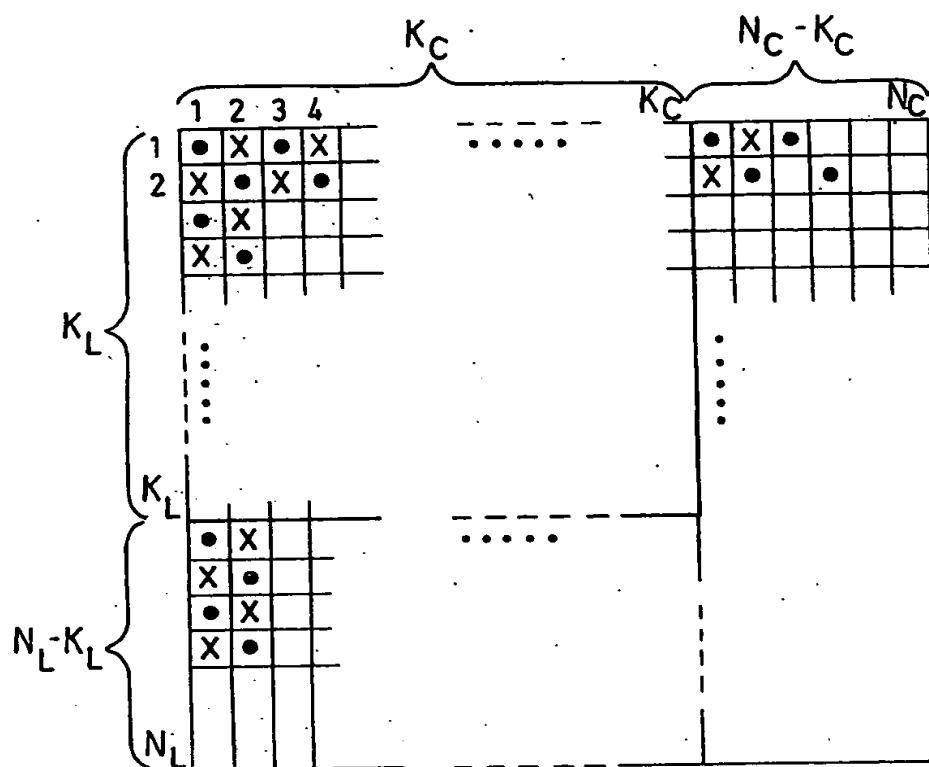


FIG.4

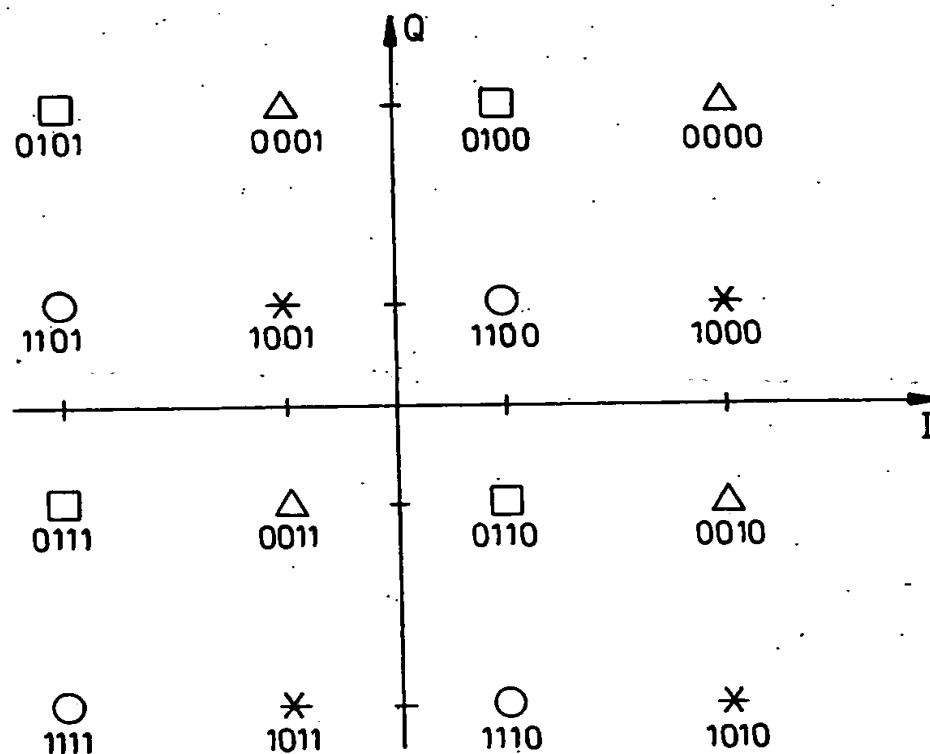


FIG.5

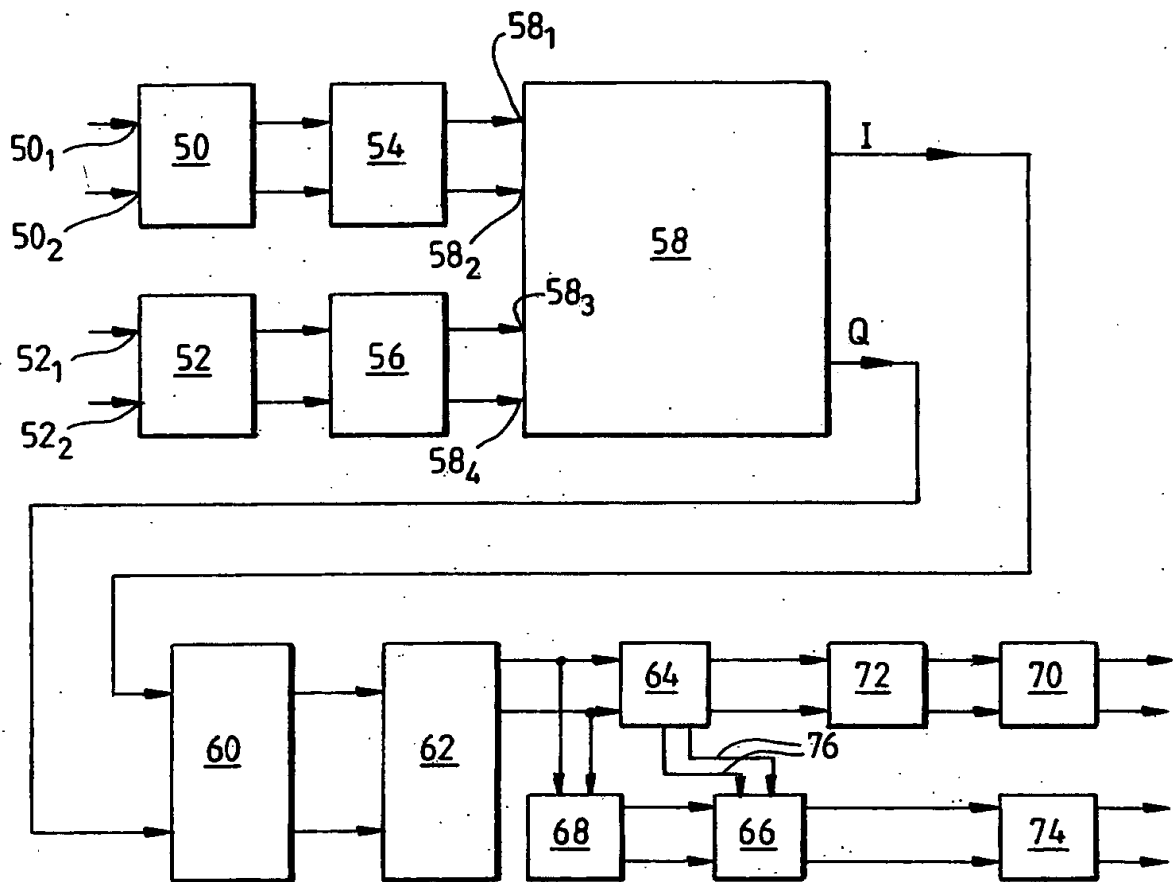


FIG. 6